

砂堆上の乱流構造

広島大学工学部 正会員 川西 澄

広島大学工学部 正会員 余越 正一郎

1. はじめに 砂堆上ではkolk・boilといった組織渦が再付着点付近から周期的に発生することが知られている。これらの組織渦は河床土砂の巻き上げ、砂堆形成に関係する。砂堆上の乱流構造を明らかにするため、2次元砂堆上の流れを測定、解析した。

2. 実験方法 実験水路は図1に示すように、全長30m,幅1.5mの水平コンクリート製水路に木製砂堆模型を5連並べたものである。砂堆模型は波長190cm,波高 $H=10$ cmで、整流板から12mの位置より下流に向かって設置した。測定区間は図1に示す上流から4番目の砂堆上である。水深は測定区間の谷部で31cmとした。流速の測定には小型2成分電磁流速計2台(時定数0.05秒、受感部直径9mm)を使用し、主流方向と鉛直方向流速を同時測定した。横方向の渦度成分を計測するため、2台の流速計は同一鉛直線上に並べて設置した。受感部の間隔は6cmである。座標系は X は砂部, Y はコンクリート床表面を原点とし、流下方向(X), 鉛直上方(Z), 左岸方向(Y)を正とした。測定は水路中央部($Y=0$)において、 X 方向に $X=110$ cmまでは10cm間隔、 $X=130\sim 190$ cmまでは20cm間隔、 Z 方向には砂堆表面上3cmから1cm間隔で行った。1測点当り70msec間隔で8192個のデータを収録した(データ長573.44秒)。

3. 結果 3.1 ボイル通過時の流れ特性 ボイル通過時の流れ特性を調べるため、最もよくボイルが観察された $X/H=7.0, Z_1/H=2.1, Z_2/H=2.7$ に流速計を設置し、ボイル通過時に流速とともにボイル識別信号を記録した。結果を図2に示す。ただし図最下部

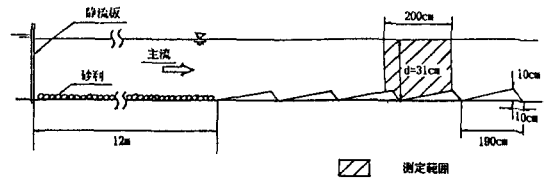


図1 実験水路

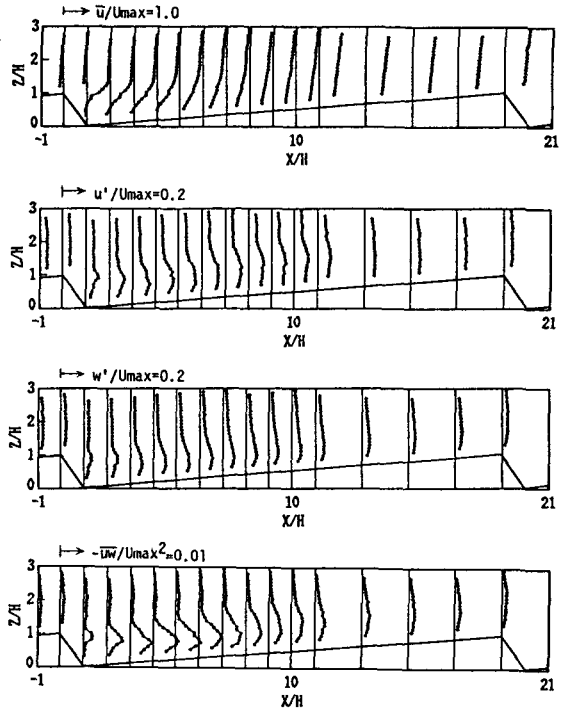
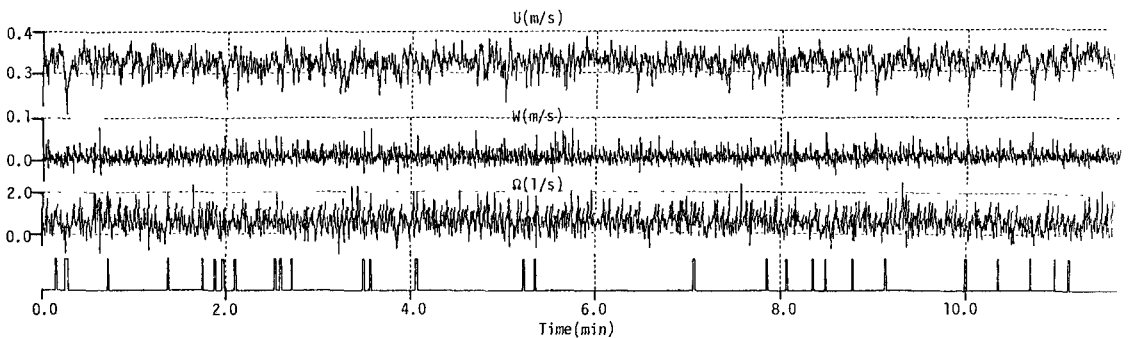
図3 平均流速、乱れ強さ、レイノルズ応力
($U_{max}=33.0(\text{cm/s})$)

図2 ボイル通過時の流れ特性

のボイル識別信号は流速計受感部付近で発生した強いものだけを選んで記録した。図の上から主流方向流速 U_2 、鉛直方向流速 W_2 、横方向の渦度成分 Ω である。

$$\Omega = \frac{\partial U}{\partial Z} - \frac{\partial W}{\partial X} \quad \text{はTaylorの仮定を用いて、}$$

$$\Omega = \frac{\partial U}{\partial Z} + \frac{1}{U_c} \frac{\partial W}{\partial t} \approx \frac{\Delta U}{\Delta Z} + \frac{1}{U_c} \frac{\Delta W}{\Delta t}$$

から求めた。ここで、

$$\Delta U = U_{i,2} - U_{i,1}$$

$$\Delta W = (W_{i+1,1} - W_{i-1,1} + W_{i+1,2} - W_{i-1,2})/4$$

$$U_c = (\bar{u}_1 + \bar{u}_2)/2$$

である。図2からボイル通過時 U が小さくなり、 W 、 Ω が大きくなる傾向が認められる。その結果渦度変動 ω は鉛直方向の速度変動 w と同様正の歪度をもつ。

3.2 砂堆上の乱れ特性 図3に砂堆上の乱れ特性の分布を、図4に流れ関数の等値線図を示す。流れ関数 $\Psi = \int_0^z \bar{u} dz$ は砂堆表面の流速を0とし、 $\bar{u}$ の測定値を3次スプラインで補間して求め、クスト上の最大流速 $U_{\max}$ と H で無次元化した。 $\Psi \leq 0$ を実線、 $\Psi > 0$ を破線で示した。図4から再付着点は $X/H=5.0$ 付近であることがわかる。図3は上から順に平均流速、主流方向の乱れ強さ、鉛直方向の乱れ強さ、レイノルズ応力の分布である。どの値も $U_{\max}$ で無次元化してある。従来言われているように、クスト下流の剝離域上縁付近で、乱れ強さ、レイノルズ応力の分布にピークが生じている。このピークは砂堆表面からはほぼ一定の高さを保ち、再付着点付近まで増加し、その後減衰し、分布は一様化してゆく。

3.3 横方向の渦度成分の特性 図5に横方向の渦度成分 Ω のモーメント分布を示す。ただし U_c が10cm/s以上の測点でのみ Ω を求め、 $Z/H=1.0\sim 2.5$ の範囲を示してある。図の上から平均渦度、渦度変動 ω の分散、歪度、尖度の等値線図である。平均渦度はクスト部から谷部にかけて大きく、 ω の分散は再付着点上部が最大で分散の大きな領域は、ほぼ砂堆表面に平行に右上方に伸びている。一方、 ω の歪度と尖度は剝離域の上方から約13°の傾きで値の大きな領域が分布している。この領域が水面に達するあたりでボイルが最もよく観察され、3.1で述べた測点もこの領域に属する。 ω の確率分布の歪が、ボイルを発生させる組織渦の通過によると考えれば、歪度の大きな領域が組織渦の移動経路を示していることになる。周期的な組織渦の放出があれば、流速変動のスペクトルにはピークが存在する。ここには示さないが、歪度の大きな領域ではスペクトルにピークが見られたのに対し、歪度の小さい領域では明瞭なピークは存在しなかった。ピークの位置はストラム数 $d \cdot f_p / U_{\max} = 0.2$ であった。

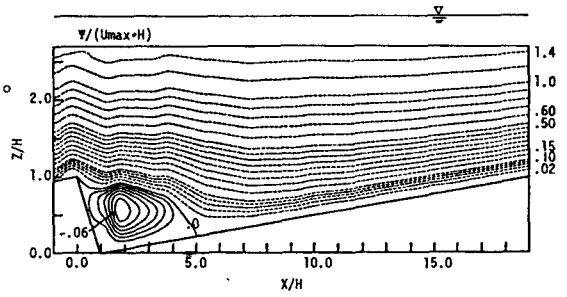


図4 流れ関数の等値線

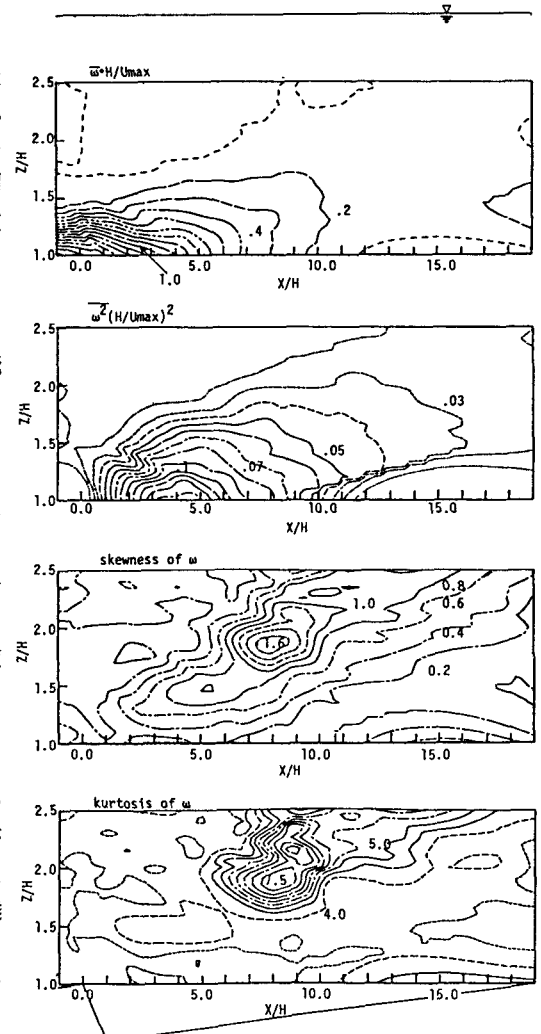


図5 渦度変動のモーメント分布